

VALIDEZ Y FIABILIDAD DE UN DISPOSITIVO INERCIAL (WIMU PRO™) PARA EL ANÁLISIS DEL POSICIONAMIENTO EN BALONMANO

Validity and Reliability of an Inertial Device (WIMU PRO™) to Tracking Analysis in Handball

Bastida-Castillo, A.¹; Gómez-Carmona, C.D.^{1,2}; Hernández-Belmonte, A.³; Pino-Ortega, J.¹

¹ Grupo de Investigación BioVetMed & SportSci. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Murcia, San Javier, Murcia España.

² Grupo de Optimización del Entrenamiento y el Rendimiento Deportivo (GOERD). Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

³ Graduado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Murcia, San Javier, Murcia, España.

Correspondencia:
Carlos D. Gómez Carmona
E-mail: cgomezcu@alumnos.unex.es.

Recibido: 06/09/2017
Aceptado: 15/03/2018

Resumen

Gracias a los avances tecnológicos, se han desarrollado nuevos métodos para el análisis de variables fisiológicas, cinemáticas y de posicionamiento espacial en el deporte. La obtención de datos cuantitativos permite mejorar el proceso de entrenamiento en todos sus ámbitos. **Objetivos:** El presente estudio examinó 1) la validez del dispositivo WIMU PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España) para el registro del posicionamiento en balonmano mediante tecnología de ultra-banda ancha (UWB) y 2) la fiabilidad inter-dispositivo para su registro. **Método:** Cuatro jugadores juveniles de balonmano de categoría nacional (Edad: 17.43 ± 0.45 años, masa corporal: 78.34 ± 4.65 kg, altura 1.93 ± 3.56 m) realizaron desplazamientos de diferente dirección y distancia: (a) perímetro del campo; (b) línea de medio campo y (c) línea de 9 metros. Para evaluar la validez, las medidas registradas por el dispositivo se compararon con las de una pista reglamentada por la Federación Internacional de Balonmano (IHF). Por su parte, la fiabilidad inter-dispositivo se evaluó mediante la comparación de dos dispositivos inerciales utilizados simultáneamente durante los desplazamientos. La extracción y análisis de los datos se realizó mediante el software S PRO™ (RealTrack Systems, Almería, España). **Resultados:** Se encontró una validez muy elevada del dispositivo evaluado mostrando una diferencia media de 0.84% y 0.42% para las coordenadas "x" e "y" respectivamente, en comparación con las medidas oficiales de la pista. La fiabilidad inter-dispositivo también fue muy elevada mostrando valores de ICC= 0.79 para la coordenada "x" y ICC= 0.68 para la coordenada "y", entre unidades. **Conclusión:** El dispositivo WIMU PRO™ es un instrumento válido y fiable para el análisis del posicionamiento en condiciones de interior en balonmano.

Palabras clave: localización indoor; precisión; tecnología de ultra-banda ancha; balonmano.

Abstract

Thanks to technological advances, new methods to analyse physiological, kinematical and spatial positioning variables have been developed. The collection of quantitative data will enable the training process enhancement in sport. **Objectives:** This study examined 1) the validity of the ultra-wide band (UWB) tracking technology registered by the WIMU PRO™ inertial device (RealTrack Systems, Almeria, Spain) and 2) the inter-device reliability for its registering in handball. **Method:** Four young national-level handball players (Age: 17.43 ± 0.45 years, body mass: 78.34 ± 4.65 kg, height 1.93 ± 3.56 m) performed travels of different direction and distance: (a) court perimeter; (b) half-court line; and (c) 9-meter line. To assess the validity, the measures recorded by the device were compared with those of a track regulated by the International Handball Federation (IHF). On the other hand, the inter-device reliability was evaluated with the comparison of two inertial devices used simultaneously during the trials. The process of extract and analysis the registered data were realised by SPRO™ software (RealTrack Systems, Almeria, Spain) **Results:** A very high validity of the assessed device was found, showing an average difference of 0.84% and 0.42% for the coordinates "x" and "y" respectively, compared to the official measurements of the court. The inter-device reliability was also very high showing values for the "x" coordinate (ICC=0.79) and for the "y" coordinate (ICC=0.68) between units. **Conclusion:** The WIMU PRO™ device is a valid and reliable instrument for the indoor tracking analysis in handball.

Keywords: indoor tracking; accuracy; ultra-wide band technology; handball.

El papel esencial de la táctica en deportes colectivos exige al cuerpo técnico su continuo análisis, a través de los diferentes sistemas de registro. Diferentes autores argumentan la relación entre aspectos como el análisis notacional de la táctica y el incremento del éxito del equipo, en deportes como balonmano (Wagner, Finkenzeller, Würth, & von Duvillard, 2014). El análisis notacional, entendido como el registro de acciones dinámicas y complejas del juego para su posterior análisis, ha evolucionado a considerarse análisis del rendimiento con la incorporación del análisis de parámetros físicos, proporcionando un visión integral de cada deporte (O'Donoghue, 2010). Con el desarrollo de la tecnología, estos sistemas notacionales con origen cualitativo y basados en observaciones sistemáticas, han ido evolucionando hacia sistemas de registro cuantitativos, basados en registros semi-automáticos o automáticos de datos objetivos (O'Donoghue, 2015)

En lo referente al balonmano, también se ha producido una evolución en cuanto a sistemas de registro se refiere. Inicialmente, se utilizaron hojas de observación cuyas anotaciones se llevaban a cabo en tiempo real, proporcionando información sobre lanzamientos, faltas o asistencias (González-García, Casáis, Viaño, & Gómez-Ruano, 2016). Posteriormente, se comenzaron a utilizar sistemas de video-grabación, que permitieron analizar con más detalle la información, gracias a la posibilidad de revisión a posteriori de las acciones acontecidas durante el juego (Curițianu, Balint, & Neamțu, 2010). El principal inconveniente de estos dos sistemas, es la imposibilidad de aportar información acerca de parámetros cinemáticos como la distancia total realizada o la velocidad de los desplazamientos. A través de la incorporación de softwares específicos para el análisis deportivo a las video-grabaciones referenciadas anteriormente, nace un nuevo método de análisis denominado "*videotracking*", que consigue proporcionar información de parámetros cinemáticos, primero de manera manual y posteriormente de manera automática, gracias a algoritmos matemáticos (Abe & Shimizu, 2011; Barros et al., 2011; Dello Iacono et al., 2016; Michalsik & Aagaard, 2015; Póvoas et al., 2012; Póvoas et al., 2017).

El deporte da un paso más, en cuanto al análisis del rendimiento se refiere, incorporando el sistema de localización por satélites conocido como *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Este sistema permite un amplio análisis en deportes que se disputan al aire libre como fútbol (Wisbey, Montgomery, Pyne, & Rattray, 2010) o rugby (Dempsey, Gibson, Sykes, Prymachuk, & Turner, 2017).

Ahora bien, la imposibilidad de comunicación entre el dispositivo y los satélites en espacios cerrados, dificulta su utilización en deportes "*indoor*" como el balonmano, baloncesto o fútbol sala. Ante esta problemática, se comienzan a utilizar los sistemas por radiofrecuencias, conocidos como *Sistemas de Posicionamiento Local* (LPM: *Local Position System*), cuya validez para el registro de parámetros como la distancia cubierta, velocidad máxima o aceleración ha sido estudiada por diversos autores (Frencken, Lemmink, & Delleman, 2010; Stevens et al., 2014).

Actualmente, los sistemas por radiofrecuencia y, en concreto, la tecnología de ultra-banda ancha (UWB: *Ultra Wide-Band*) se está utilizando en el registro de información en deportes en condiciones de interior, por ventajas como el menor tamaño de los dispositivos y la mayor precisión en las medidas. Referente a esto Rhodes, Mason, Perrat, Smith, & Goosey-Tolfrey (2014) compararon un sistema de UWB con un láser de medición como criterio estándar, para el análisis de acciones como desplazamientos a diferentes velocidades o movimientos multi-direccionales dentro del deporte en sillas de ruedas, obteniendo una muy alta precisión para este sistema. Por su parte, Leser, Schleindlhuber, Lyons, & Baca (2014) compararon el sistema UWB con una rueda de medición para analizar los movimientos en una pista de baloncesto, realizando desplazamientos por el centro y los bordes de ésta. Estos autores obtuvieron un error del 3.45% del sistema UWB respecto al criterio estándar, por lo que concluyeron con la total validez del UWB para el análisis el movimiento en baloncesto.

A pesar de su elevada precisión, no se han encontrado un gran número de trabajos que utilicen este sistema para el análisis del movimiento en el ámbito deportivo. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue constatar la validez de la tecnología de ultra-banda ancha utilizada por un dispositivo inercial (WIMU PRO™) para el análisis del posicionamiento en balonmano, así como evaluar la fiabilidad inter-dispositivo para la medición de dicho parámetro.

Método

Participantes

Cuatro jugadores juveniles de balonmano de categoría nacional (Edad: 17.43 ± 0.45 años, masa corporal: 78.34 ± 4.65 kg, altura 1.93 ± 3.56 m) participaron voluntariamente en el presente estudio. Los participantes presentaban los siguientes criterios de inclusión: (i) un mínimo de 2 años de experiencia en la práctica del balonmano y (ii) ausencia de limitaciones físicas o lesiones musculoesqueléticas que pudiesen afectar a los datos recogidos. La altura de los sujetos fue constatada mediante un tallímetro (SECA, Hamburgo, Alemania). La masa corporal fue obtenida a través de un monitor de composición corporal compuesto por 8 electrodos (modelo BC-601; TANITA, Tokio, Japón). El estudio se realizó de acuerdo a los principios de ética de investigación de la Declaración de Helsinki y estuvo aprobado por la Comisión de Bioética de la Universidad de Murcia. Los participantes fueron informados de los riesgos asociados con las pruebas a realizar y proporcionaron por escrito un consentimiento informado.

Instrumentos

Para el presente estudio fue utilizado el dispositivo WIMU PRO™ (unidad de medida inercial) (RealTrack Systems, Almería, España). Estos dispositivos, cuentan con un microprocesador propio de 1 GHz, memoria flash de 8GB y una interfaz USB de alta velocidad con la finalidad de grabar, almacenar y subir los datos. El dispositivo es alimentado por una batería interna con 4 horas de autonomía, posee 70 gramos de peso y una dimensión de 81 x 45 x 16 milímetros. El dispositivo WIMU PRO™ dispone diferentes sensores (4 acelerómetros, un giroscopio, un magnetómetro, un chip GNSS y otro UWB, entre otros). El chip UWB está integrado en la unidad de medida inercial. El software S PRO™ fue utilizado para exportar y analizar las coordenadas de posicionamiento "x" e "y".

Este sistema UWB intenta aliviar el problema de referencia de los satélites, utilizando técnicas de posicionamiento basadas en el tiempo en las que la señal se propaga desde el transmisor al receptor. Así, si todos los nodos tienen un reloj común, el nodo receptor puede determinar el tiempo de llegada (TOA) de la señal entrante y calcular directamente su distancia desde el transmisor, multiplicando así el TOA estimado por la velocidad de la luz permite dibujar un círculo con el Nodo de referencia en su centro y radio, igual al rango estimado. Mediante la recogida de al menos tres mediciones (triangulación) y la intersección de los círculos definidos, es posible determinar la posición del nodo con alta precisión (figura 1).

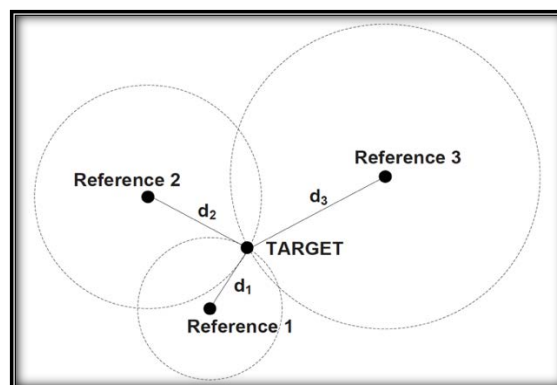


Figura 1. Ejemplo de la triangulación para determinar el posicionamiento

Procedimiento

Dos dispositivos inerciales WIMU PRO™ fueron colocados en dos chalecos especialmente diseñados para ello y localizados en la parte superior del torso, ajustados firmemente, tal y como son utilizados durante el juego. En el chaleco, los dispositivos fueron colocados en paralelo (con una separación de 2 centímetros) y a la misma altura. Los jugadores de balonmano incluidos en la investigación, realizaron diferentes movimientos siguiendo dos consideraciones: (i) moverse en todo momento sobre las líneas marcadas en la pista de balonmano y (ii) llevar a cabo desplazamientos a una velocidad superior a 15 km/h.

Trayectos

Se realizaron diferentes tipos de desplazamiento en la pista de balonmano para representar diferentes direcciones de movimiento y distancia total recorrida: (a) perímetro del campo; (b) línea de medio campo y (c) línea de 9 metros. Estos desplazamientos se muestran en la figura 3.

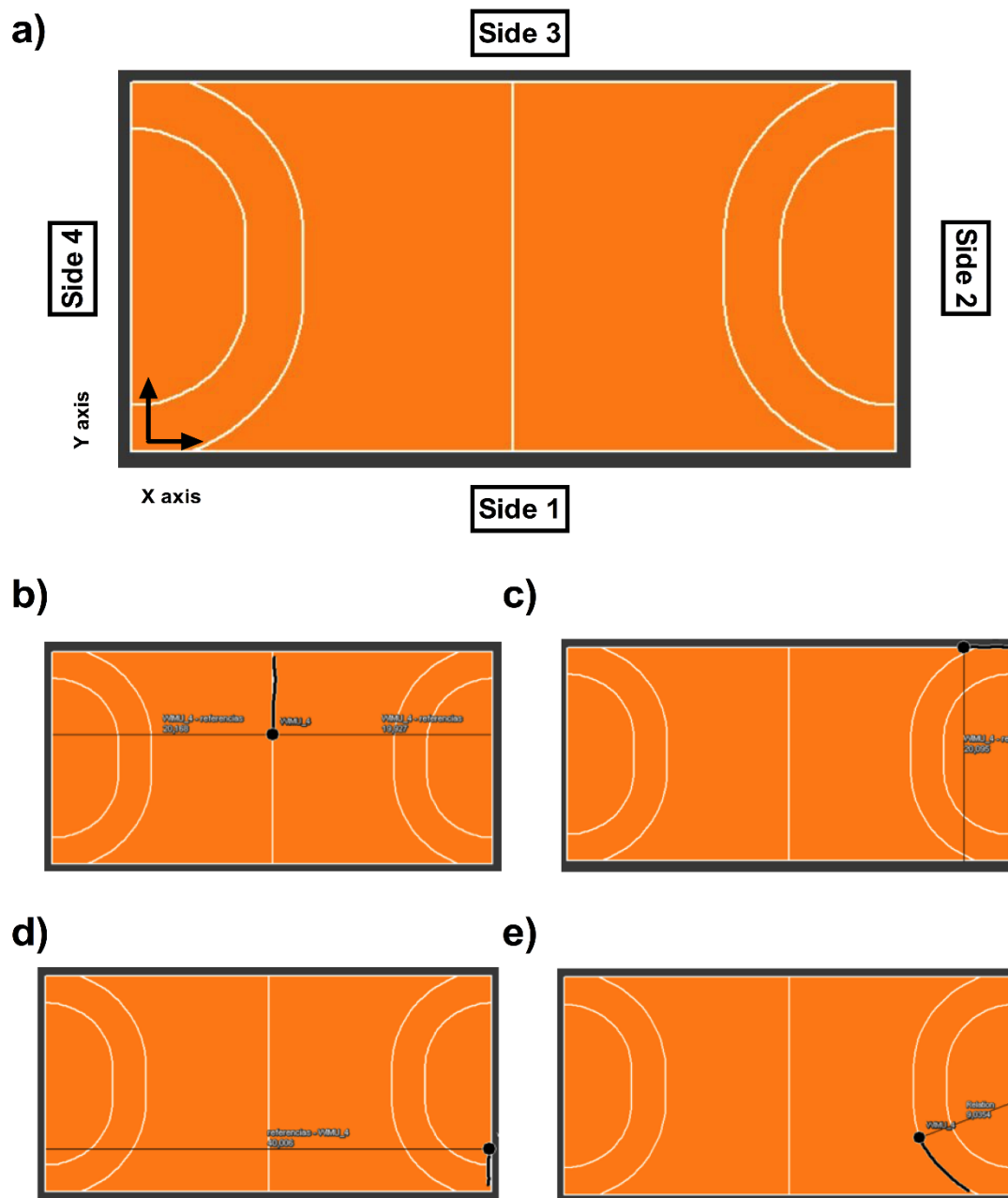


Figura 3. Representación gráfica de los recorridos realizados para el análisis de la validez de la medición del sistema WIMU PRO™ mediante tecnología UWB: a) representación de los lados y ejes del campo; (b) análisis de la línea de centro de campo respecto a las líneas de meta; (c) análisis de la línea de banda respecto a la línea de banda contraria; (d) análisis de la línea de meta respecto a la línea de meta contraria y (e) análisis de la línea de 9 metros respecto al centroide de la portería.

El proceso de extracción de datos consistió en: (i) mediante el software S PRO™ se obtuvieron los datos de las diferentes pruebas (perímetro del campo: 40 metros de largo y 20 metros de ancho; línea de medio campo: 20 metros de largo y; línea de 9 metros: 9 metros de distancia desde el centroide de la portería) donde las dimensiones de la pista utilizada estaban de acuerdo a las establecidas por la Federación Internacional de Balonmano (IHF); (ii) el software S PRO™ asignó un número a cada borde a excepción de los desplazamientos circulares donde se utilizó el radio como referencia;

(iii) se utilizó un sistema de referencia en la aplicación; (iv) incorporación de los datos de las coordenadas "x" e "y" de los dispositivos inerciales WIMU PRO™ (unidades 101 y 108); (v) selección de los intervalos correspondientes a los desplazamientos de los jugadores; (vi) sobre cada selección, se calculó la distancia entre el eje principal de desplazamiento y el lado opuesto, obteniendo el par de coordenadas (x,y) en relación con su línea de referencia en el recorrido, a excepción de los desplazamientos circulares donde se calculó la distancia al centroide; (vii) los datos fueron exportados al software Excel y (viii) se calcularon las distancias entre el eje de desplazamiento.

Análisis estadístico

La distancia de los dos ejes a la línea de referencia fue automáticamente calculada y descargada usando el software específico S PRO™. La precisión de los datos de posicionamiento se calculó como la diferencia y el porcentaje de diferencia de las coordenadas "x" e "y" con respecto a su línea de referencia en la pista. La fiabilidad entre dispositivos se determinó utilizando la hoja de cálculo de fiabilidad de Hopkins (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009) para calcular el porcentaje de error típico de la medición (%TEM) y los valores del coeficiente de correlación intraclase (CCI). Esto, implicó la comparación de los valores reportados por las unidades 101 y 108 utilizadas. Estos ensayos ayudaron a comprender el posible grado de error y la cantidad de variación entre las unidades. Las magnitudes del porcentaje de TEM utilizadas, fueron pobres (>10%), moderadas (5-10%) o buenas (<5%). Para la interpretación de los valores del CCI se tuvieron como referencia: trivial (<0.10), pequeña (0.10-0.29), moderada (0.30-0.49), grande (0.50-0.69), muy grande (0.70-0.89), casi perfecta (0.90-0.99) y perfecta (1.00).

Resultados

En el análisis de la validez del dispositivo inercial, se encontró un error absoluto medio de todas las estimaciones de posición ($n= 8344$ muestras) de 8.76 ± 0.79 cm para la coordenada "x" y 6.04 ± 1.02 cm para la coordenada "y". La Tabla 1 resume las diferencias medias del error de estimación de posición en los diferentes trayectos.

Tabla 1. Precisión en diferencias (centímetros) y porcentaje de diferencias de las coordenadas de posicionamiento "x" e "y"

Trayectoria diseñada	Unidad	Diferencias		Porcentaje de diferencias	
		X	Y	X	Y
Perímetro	101	8.65	7.53	0.62%	0.54%
	108	7.99	5.18	0.57%	0.37%
Línea de medio campo	101	9.06	5.61	0.60%	0.37%
	108	9.08	5.87	0.61%	0.39%
Línea de 9 metros	101	9.98	-	1.48%	-
	108	7.82	-	1.16%	-
Media \pm DT		8.76 ± 0.79	6.04 ± 1.02	0.84 ± 0.39	0.42 ± 0.08
LOA (L to U)		7.96 to 9.55	5.01 to 7.07	0.45 to 1.22	0.34 to 0.50

DT: Desviación típica; LOA= Límites de acuerdo; L=Inferior; U=Superior

En cuanto al análisis de fiabilidad, el CCI fue muy elevado para la coordenada "x" (0.79) y elevado para la coordenada "y" (0.68), además de un buen %TEM (<1%) entre los dos dispositivos evaluados.

Tabla 2. Fiabilidad inter-dispositivo de las coordenadas de posicionamiento "x" e "y"

Coordenada	Unidad 1 (Media \pm DT)	Unidad 2 (Media \pm DT)	CCI	90% IC	%TEM
"x"	9.04 ± 0.55	8.58 ± 0.68	0.79	0.33 to 0.95	1.0
"y"	6.57 ± 1.35	5.53 ± 0.48	0.68	0.38 to 0.94	1.0

DT: Desviación típica; CCI=Coeficiente de correlación intraclase; IC=Intervalo de confianza; TEM=Error típico de medida.

Discusión

Según nuestro conocimiento este estudio fue el primero en evaluar la precisión y el acuerdo de medición entre unidades del sistema UWB para la monitorización de posicionamiento de jugadores en balonmano. Los resultados confirmaron que el sistema de localización UWB del dispositivo inercial WIMU PRO™ es adecuado para monitorizar los datos de posición con una alta precisión ($x = 8.76 \pm 0.79$ cm; $y = 6.04 \pm 1.02$ cm) y una buena fiabilidad inter-unidades con un alto ICC para las coordenadas "x" ($CCI = 0.79$) e "y" ($CCI = 0.68$) y con un buen error típico de medida ($TEM < 1\%$).

Existe una limitación en cuanto a la comparación con los estudios de precisión y fiabilidad de otras técnicas de posicionamiento relacionadas con el deporte, debido a la utilización de diferentes protocolos, sistemas de referencia, y tecnologías de seguimiento de jugadores. Sin embargo, los resultados reportados sobre las variables velocidad media y la distancia recorrida en anteriores estudios con GNSS (Barbero-Álvarez, Coutts, Granda, Barbero-Álvarez, & Castagna, 2010; Castellano, Casamichana, Calleja-González, San Román, & Ostojic, 2011; Duffield, Reid, Baker, & Spratford, 2010; Waldron, Worsfold, Twist, & Lamb, 2011) permiten suponer que este modelo de UWB supera ampliamente a los resultados del GNSS. La tecnología UWB ya había sido estudiada, aunque bajo su aplicación en el análisis de tiempo-movimiento, confirmando una suficiente precisión tanto en su aplicación en el baloncesto con un error del 3.45% (Leser et al., 2014) como en su aplicación en deportes en silla de ruedas con un error del 0.2% (Rhodes et al., 2014). Ambos estudios fueron realizados con el mismo modelo (Ubisense) y en las mismas condiciones de interior, aunque las diferencias en el protocolo de ejecución de los ensayos provocan una gran diferencia en la precisión, en función de las exigencias de cada deporte. Por otro lado, la tecnología LPS informó mejores resultados de precisión que el GNSS y UWB. Ogris et al. (2012) informaron un error absoluto promedio de $23,4 \pm 20,7$ cm., el cual todavía es superior al presentado con estos resultados. Teniendo en cuenta que el sistema de medición de la posición se utiliza principalmente para los análisis de tiempo-movimiento en el deporte (Leser, Baca, & Ogris, 2011), este resultado parece aceptable. Ogris et al., (2012) discutieron que, para los análisis tácticos, el error de estimación de la detección de posición debería estar por debajo del balanceo natural del centro de gravedad del cuerpo (15 a 20 cm) en los movimientos observados (Leser et al., 2011). Por lo tanto, los resultados de precisión del presente estudio parecen ser suficientes para tales aplicaciones.

En los resultados se obtuvo una muy buena fiabilidad inter-dispositivo mostrando valores de índice de correlación intraclase para las coordenadas "x" ($CCI = 0.79$) e "y" ($CCI = 0.68$) respectivamente. Por su parte Rhodes, Mason, Perrat, Smith, & Goosey-Tolfrey (2014), encontraron diferentes resultados en cuanto a la fiabilidad inter-dispositivo en los 4 test utilizados: mediciones estáticas ($CV = 1.0\%$), velocidad incremental ($CV \leq 0.4\%$), máxima velocidad ($CV \leq 2.0\%$) y movimientos multidireccionales ($CV = 0.5\%$). El hecho de que Rhodes et al. (2014) colocasen el dispositivo sobre sillas de ruedas podría explicar la elevada fiabilidad entre dispositivos, al proporcionar éstas un medio con mayor estabilidad para el desplazamiento. Por otro lado, es importante destacar que no se ha encontrado ningún otro trabajo que analice la fiabilidad inter-instrumento en dispositivos basados en UWB.

La mayoría de las aplicaciones deportivas del sistema de localización se enfocan en el análisis de parámetros de movimiento en el tiempo como distancias o velocidades cubiertas (Leser et al., 2011). Los métodos de validación utilizados en los estudios previos que utilizan recorridos estándar y mediciones de tiempo son suficientes para tales análisis (Castellano et al., 2011; Johnston, Watsford, Kelly, Pine, & Spurr, 2014; Sathyan, Shuttleworth, Hedley, & Davids, 2012; Waldron et al., 2011). Sin embargo, otras implicaciones de los sistemas de medición de posición (por ejemplo, el análisis táctico) requieren datos más precisos. Otros estudios, como consecuencia, aplicaron el análisis de video como sistema de referencia para satisfacer estos requisitos para el método de validación (Beato, Bartolini, Ghia, & Zamparo, 2016; Janssen & Sachlikidis, 2010; Ogris et al., 2012; Stevens et al., 2014). La problemática que presenta este sistema de análisis es su complejidad de uso (debe ser evaluado en cada localización interior donde vaya a ser utilizado) y su alto coste, por lo que no es un método apropiado para la evaluación. Por ello, un método de validación alternativo parecía ser necesario. El método de validación de exactitud aplicado en este documento intenta satisfacer estos requisitos. A pesar de la disminución de la validez ecológica, los tres ensayos que se realizan contienen los movimientos típicos del deporte

de equipo como el balonmano: (i) cursos lineales, (ii) movimientos curvilíneos, (iii) cambio de dirección, (iv) aceleraciones y deceleraciones y, (v) velocidad (>15 km/h). Las consideraciones utilizadas en el método de este estudio se realizan para requisitos de balonmano (por ejemplo, para llevar a cabo los movimientos que alcanzan una velocidad superior a 15 km/h, considerando que la velocidad máxima en el balonmano normalmente no excede los 25 km/h, excepto en las acciones de contraataque realizadas por los extremos). Por esta razón, un método que reproduzca las demandas específicas de cada modalidad deportiva, debe ser necesario para una correcta evaluación.

En cuanto a las limitaciones del estudio, el protocolo de evaluación utilizado posee la capacidad de ser práctico y sencillo en detrimento de la validez ecológica, ya que situaciones reales de juego no pudieron ser evaluadas. En este sentido, también sería interesante, y es un aspecto que nadie ha evaluado antes, comprobar otras situaciones de juego en los resultados de validación como: saltos, caídas, y/o impactos entre jugadores.

Conclusiones

- La precisión del sistema de posicionamiento UWB del dispositivo inercial WIMU PRO™ puede considerarse aceptable para aplicaciones prácticas en el análisis de tiempo-movimiento.
- El registro del posicionamiento es muy preciso y puede considerarse aceptable para el análisis táctico en tiempo real.
- El error de estimación del posicionamiento no fue significativamente variable en los diferentes recorridos realizados.
- El uso de diferentes dispositivos no afecta significativamente al error de medición, debido a su buena confiabilidad entre unidades.

Referencias

- Abe, A., & Shimizu, I. (2011). 3D Shot course estimation system for tactics analysis support of handball games. En *Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2011 Eighth International Joint Conference on* (pp. 83–86). IEEE. Recuperado a partir de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5930098/>
- Barbero-Álvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Álvarez, V., & Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport, 13*(2), 232-235. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.02.005>
- Barros, R. M. L., Menezes, R. P., Russomanno, T. G., Misuta, M. S., Brandão, B. C., Figueroa, P. J., ... Goldenstein, S. K. (2011). Measuring handball players trajectories using an automatically trained boosting algorithm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 14*(1), 53-63. <https://doi.org/10.1080/10255842.2010.494602>
- Beato, M., Bartolini, D., Ghia, G., & Zamparo, P. (2016). Accuracy of a 10 Hz GPS Unit in Measuring Shuttle Velocity Performed at Different Speeds and Distances (5 – 20 M). *Journal of Human Kinetics, 54*(1). <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0031>
- Castellano, J., Casamichana, D., Calleja-González, J., San Román, J., & Ostojic, S. M. (2011). Reliability and Accuracy of 10 GPS Devices for Short-Distance Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine, 10*, 233–234.
- Curițianu, I., Balint, E., & Neamțu, M. (2010). Analysis of defense parameters in handball teams HCM Constanta and FC Barcelona in the competition Champions League 2011-2012 Analiza parametrilor defensivi înregistrați de echipele HCM Constanța și FC Barcelona în competiția Liga Campionilor 2011. *PALESTRICA MILENIULUI III, 22*.
- Dello Iacono, A., Martone, D., Zagatto, A. M., Meckel, Y., Sindiani, M., Milic, M., & Padulo, J. (2016). Effect of contact and no-contact small-sided games on elite handball players. *Journal of Sports Sciences, 1-9*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1276296>
- Dempsey, G. M., Gibson, N. V., Sykes, D., Prymachuk, B., & Turner, A. P. (2017). Match demands of Senior and Junior players during International Rugby League: *Journal of Strength and Conditioning Research, 1*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002028>
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., & Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport, 13*(5), 523-525. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.07.003>
- Frencken, W. G. P., Lemmink, K. A. P. M., & Delleman, N. J. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport, 13*(6), 641-645. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>

- González-García, I., Casáis, L., Viaño, J., & Gómez-Ruano, M. A. (2016). Inter-observer Reliability of a Real-time Observation Tool in Handball. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 4(4). <https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v.4n.4p.1>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3-13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Janssen, I., & Sachlikidis, A. (2010). Validity and reliability of intra-stroke kayak velocity and acceleration using a GPS-based accelerometer. *Sports Biomechanics*, 9(1), 47-56. <https://doi.org/10.1080/14763141003690229>
- Johnston, R. J., Watsford, M. L., Kelly, S. J., Pine, M. J., & Spurrs, R. W. (2014). Validity and interunit reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1649–1655.
- Leser, R., Baca, A., & Ogris, G. (2011). Local Positioning Systems in (Game) Sports. *Sensors*, 11(12), 9778-9797. <https://doi.org/10.3390/s111009778>
- Leser, R., Schleindlhuber, A., Lyons, K., & Baca, A. (2014). Accuracy of an UWB-based position tracking system used for time-motion analyses in game sports. *European Journal of Sport Science*, 14(7), 635-642. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.884167>
- Michalsik, L. B., & Aagaard, P. (2015). Physical demands in elite team handball: Comparisons between male and female players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(9), 878–891.
- O'Donoghue, P. (2010). *Research methods for sports performance analysis*. London: Routledge.
- O'Donoghue, P. (2015). *An introduction to performance analysis of sport*. Abingdon, Oxon ; New York: Routledge.
- Ogris, G., Leser, R., Horsak, B., Kornfeind, P., Heller, M., & Baca, A. (2012). Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1503-1511. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712712>
- Póvoas, S. C. A., Castagna, C., Resende, C., Coelho, E. F., Silva, P., Santos, R., ... Krstrup, P. (2017). Physical and Physiological Demands of Recreational Team Handball for Adult Untrained Men. *BioMed Research International*, 2017, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2017/6204603>
- Póvoas, S. C., Seabra, A. F., Ascensão, A. A., Magalhães, J., Soares, J. M., & Rebelo, A. N. (2012). Physical and physiological demands of elite team handball. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(12), 3365–3375.
- Rhodes, J., Mason, B., Perrat, B., Smith, M., & Goosey-Tolfrey, V. (2014). The validity and reliability of a novel indoor player tracking system for use within wheelchair court sports. *Journal of Sports Sciences*, 32(17), 1639-1647. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.910608>
- Sathyan, T., Shuttleworth, R., Hedley, M., & Davids, K. (2012). Validity and reliability of a radio positioning system for tracking athletes in indoor and outdoor team sports. *Behavior Research Methods*, 44(4), 1108-1114. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0192-2>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., & Savelsbergh, G. J. P. (2014). Measuring Acceleration and Deceleration in Soccer-Specific Movements Using a Local Position Measurement (LPM) System. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 446-456. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0340>
- Wagner, H., Finkenzeller, T., Würth, S., & von Duvillard, S. P. (2014). Individual and team performance in team-handball: A review. *Journal of sports science & medicine*, 13(4), 808.
- Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C., & Lamb, K. (2011). Concurrent validity and test–retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables. *Journal of Sports Sciences*, 29(15), 1613-1619. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.608703>
- Wisbey, B., Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 531-536. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.09.002>

Referencia del artículo:



Bastida-Castillo, A.; Gómez-Carmona, C.D.; Hernández-Belmonte, A.; Pino-Ortega, J. (2018). Validez y Fiabilidad de un Dispositivo Inercial (WIMU PRO™) para el Análisis del Posicionamiento en Balonmano. *E-balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte* 14(1), 9-16. <http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/index>